

Выводы. Разработка адаптивной системы управления электрической сетью при наличии в ней активных элементов позволит наиболее полно использовать имеющиеся ресурсы (в т.ч. ЛЭП и ВИЭ) для надежного электроснабжения потребителей. При этом алгоритмы её работы должны учитывать возможность изменения топологии сети, её расширение и внедрение различных элементов распределенной генерации для усиления сети.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 274 с.
2. E. Mashhour, S. M. Moghaddas-Tafreshi, "Bidding Strategy of Virtual Power Plant for Participating in Energy and Spinning Reserve Markets—Part I: Problem Formulation", IEEE Transaction on power system, 2011.
3. Логинов Е. Л. Развитие «интеллектуальных сетей» в электроэнергетике отраслей, регионов, городов России // Управление мегаполисом. 2011.

Научный руководитель: Ю.П. Кубарьков, д.т.н., профессор, Самарский государственный технический университет.

ВАРИАНТ РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК С УЧЕТОМ ПРОВОДИМОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

Е.Н. Федосеенко

Харьковский политехнический институт

Определение характеристик заземляющих устройств (ЗУ) электроустановок с открытыми распределительными устройствами необходимо выполнять в комплексе с вопросами надежности и электромагнитной совместимости оборудования. Естественные сосредоточенные заземлители в силу большой поверхности контакта с грунтом выравнивают потенциал в узлах ЗУ и, тем самым, разгружают по току горизонтальные искусственные и естественные заземлители. Поэтому их подробный учет в решении задачи расчета электрических характеристик сложных неэквипотенциальных ЗУ представляется обязательным, так как влияет на уровень электромагнитных помех.

Метод расчета сложного комбинированного заземлителя может базироваться на условии его эквипотенциальности, так и на условии неэквипотенциальности, т.е. с учетом продольного сопротивления горизонтальных электродов. Современные вычислительные возможности позволяют реализовать алгоритм расчета неэквипотенциальных сложных комбинированных заземлителей как универсальный.

Основная идея метода [1] заключается в совместном рассмотрении ЗУ в общем случае как сложной электрической цепи с сосредоточенными параметрами вертикальных электродов и тех из горизонтальных, продольное сопротивление которых не учитывается, и распределенными параметрами всех остальных горизонтальных электродов нелинейно-зависящими от проходящего по ним тока, и установившегося (квазистационарного) электрического поля тока в земле.

Анализ приведенных в [1] выражений показывает, что они не охватывают все возможные варианты расположения элементов сложных ЗУ применительно к двухслойной модели грунта. Следует однако отметить, что расчетная совокупность электродов, замещающих арматурные каркасы железобетонных оснований, в предложенных моделях [1, 2] не обоснована по эквивалентным электрическим характеристикам.

Ставится задача совершенствования алгоритма, реализующего указанную ранее математическую модель, путем подробного учета естественных сосредоточенных заземлителей.

Основой для алгоритма расчета сложных неэквипотенциальных ЗУ электроустановок с учетом проводимости естественных заземлителей принят метод расчета сложных ЗУ, учитывающий продольное сопротивление горизонтальных элементов [1, 3]. Этот метод разработан для случая, когда ЗУ содержит наряду с горизонтальными и вертикальные элементы.

В соответствии с требованиями о прямолинейности электродов заземления предложен следующий способ учета естественной проводимости растеканию тока с арматуры железобетонных заземлителей для реализации возможностей указанного алгоритма расчета. Заместим естественный сосредоточенный заземлитель совокупностью линейных электродов, например, таким образом, чтобы эти электроды были расположены по абрису естественного заземлителя. Далее к указанной совокупности электродов можно применять МНП [1, 5] для решения задачи электрического поля как к сложному ЗУ и определить значения сопротивления растеканию и потенциалов точек на поверхности земли.

Полифункциональность ЗУ электроустановок напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью привела к необходимости нормирования нескольких параметров ЗУ – напряжение прикосновения и сопротивление ЗУ, как одна обязательная нормированная характеристика, и напряжение на ЗУ – как вторая [4]. В связи с этим, принимаем два критерия эквивалентности замещения естественных сосредоточенных заземлителей совокупностью линейных электродов: приближение по сопротивлению и приближение по потенциалам точек на поверхности земли.

Полученные модели естественных сосредоточенных заземлителей в виде совокупности линейных вертикальных и горизонтальных электродов вносятся в алгоритм расчета сложных неэквипотенциальных ЗУ в виде элементов, участвующих наряду с искусственными линейными заземлителями в токораспределении ЗУ, причем продольное сопротивление вводимых элементов не учитывается.

Токораспределение между элементами неэквипотенциального ЗУ определяет СЛАУ согласно [1] в матричной форме:

$$AI_0 = U, \quad (2)$$

где A – матрица взаимных и собственных сопротивлений элементов;

I_0 – матрица-столбец комплексных значений токов, выходящих из элементов сложного заземлителя в землю;

U – матрица-столбец комплексных значений напряжений элементов (для горизонтальных элементов берут среднее из значений напряжения в начале и конце элемента, а для вертикальных элементов – напряжение узловой точки, с которой он соединен).

Комплексные значения напряжений элементов ЗУ связаны со значениями задающих токов и с параметрами сложной нелинейной электрической цепи, имитирующей исходное ЗУ. Выражаем эту связь по методу узловых напряжений в матричной форме (все узлы, начиная с опорного, в качестве которого принимаем “землю” – зону нулевого потенциала, пронумерованы от нуля до q) [1, 3]:

$$YU_{уз} = I_{зд}, \quad (3)$$

где Y – квадратная матрица полной проводимости цепей;

$U_{уз}$ – матрица-столбец узловых напряжений;

$I_{зд}$ – матрица столбец задающих токов.

В соответствии с [1] расчет сложной электрической цепи, замещающей многоэлементное ЗУ, сводится к совместному решению двух матричных уравнений (2) и (3), причем (3) – нелинейно. Вертикаль-

ные элементы ЗУ замещают сосредоточенными проводимостями на землю; также замещают те горизонтальные элементы, продольное сопротивление которых не учитывается.

Полученное решение токов во всех ветвях схемы замещения сложного ЗУ дает значения проходящих по горизонтальным элементам ЗУ токов как среднее между значениями тока в начале и в конце каждого горизонтального элемента с распределенными продольными параметрами. Как результат этого – добавление в алгоритм расчета сложных неэквипотенциальных ЗУ электроустановок решения задачи определения уровня ЭМС.

Достаточность достигнутого приближения оценивают по ξ -критерию:

$$\xi = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q \left| \frac{U_{jo}^{(n-1)} - U_{jo}^{(n)}}{U_{jo}^{(n)}} \right| \leq \xi_{don}, \quad (6)$$

где (n) – верхний индекс, показывающий номер последней итерации;

q – число узлов схемы замещения заземлителя;

U_{jo} – модуль напряжения j -го узла относительно опорного.

В части алгоритма расчета сложных неэквипотенциальных ЗУ электроустановок новые положения, по сравнению с известными решениями, состоят в учете проводимости естественных сосредоточенных заземлителей совокупностью вертикальных и горизонтальных электродов. При этом, поскольку указанные горизонтальные электроды могут располагаться в нижнем слое двухслойной структуры земли, то алгоритм дополнен соответствующими выражениями взаимных и собственных сопротивлений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.
2. Барбашов И.В., Пухкал В.А. Расчетные эквиваленты железобетонных фундаментов типовых подстанций ограниченной площади // Вестник Харьковского политехнического института, №169, “Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок”. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, - 1980. – Вып. 8. С. 56-58.
3. Якобс А.И., Петров П.И. Об учете продольного сопротивления горизонтальных элементов крупных заземляющих устройств. – Электричество. – 1974. – №1. – С. 13 – 18.

4. Правила устройства электроустановок – 6-е изд. перераб. и доп. – М.: Главгосэнергонадзор, 1998. – 640 с.
5. Федосеенко Е.Н. Минченко А.А. Вариант замещения естественных сосредоточенных заземлителей – арматурных каркасов железобетонных фундаментов (подножников) в виде расчетной совокупности электродов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків 2006 – №6/3(24) – С. 81-84.

Научный руководитель: А.А. Минченко, к.т.н., доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

АНАЛИЗ ВВОДА ПОДСТАНЦИИ 220 КВ «ТАЙГА» С ВЛ 220 КВ РАЗДОЛИНСКАЯ-ТАЙГА НА РАЗГРУЗКУ СЕВЕРО- ЕНИСЕЙСКОГО И МОТЫГИНСКОГО РАЙОНОВ

О.В. Малюкова
Сибирский федеральный университет

Красноярский край находится на первом месте в России по объемам добычи золота. На территории Северо-Енисейского и Мотыгинского районов работают и развиваются золотодобывающие компании, наиболее крупными из которых являются: ЗАО «Полус», ООО «Соврудник» и Раздолинский периклазовый завод.

В результате анализа технических условий на технологическое присоединение, информации о перспективном электропотреблении и максимуме нагрузок от наиболее крупных предприятий, функционирующих на территории района, был сформирован прогноз максимума нагрузки Северо-Енисейского и Мотыгинского районов, который представлен в Таблице 1.

Табл. 1. Прогноз максимума нагрузки Северо-Енисейского и Мотыгинского районов Красноярского края

Наименование показателей	2016г.	2019г.	2024 г.
Максимум нагрузки, МВт	226	365	396
Прирост, %	12,51	10,06	1,64

Прирост максимума нагрузки по Северо-Енисейскому и Мотыгинскому районам в период с 2016 по 2024гг. составит 170 МВт. Это обусловлено развитием золотодобывающей отрасли (развитием существующих месторождений и освоением новых), а также ростом коммунально-бытовой нагрузки.